

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-332737

(43)公開日 平成5年(1993)12月14日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 B 11/24		C 9108-2F		
G 0 6 F 15/62	4 1 5	9287-5L		

審査請求 未請求 請求項の数3(全7頁)

(21)出願番号 特願平3-128889

(22)出願日 平成3年(1991)3月15日

(71)出願人 591116678

佐藤 幸男

愛知県名古屋市千種区観月町1-29 観月  
ハウス507号

(72)発明者 佐藤 幸男

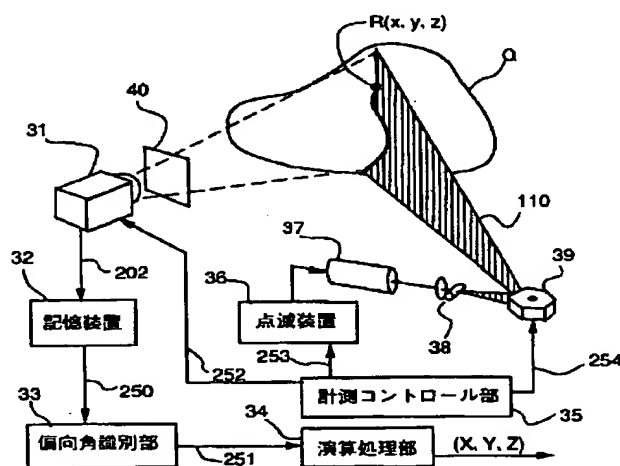
愛知県名古屋市千種区観月町1-29観月ハ  
ウス507号

(54)【発明の名称】 形状計測装置

## (57)【要約】

【目的】従来の空間コード化法を用いた形状計測装置は、光源が大きく、物理的なパターンマスクを使用しているために、計測の高速化および装置の小型化が困難であった。本発明は、これらの困難を解決した形状計測装置を実現すると共に、それに用いる簡易な構成の記憶装置と、入り組んだ場所にある物体の測定を可能にする手段とを実現することを目的とする。

【構成】本発明に係る形状計測装置は、レーザ光源、スリット光整形用レンズ系、スリット光スキャン用の偏向照射装置、スリット光を所定規則に従って点滅させるための点滅装置、CCDカメラ、画像情報を蓄える記憶装置、偏向角識別部、3次元座標を算出する演算処理部、より成る。本発明に係る形状計測装置の記憶装置は、1フレーム分の画像を蓄える深さ1ビットのメモリを並列に複数枚接続して構成される。本発明に係る形状計測装置は、光ファイバー束を偏向照射装置と被測定物体との間に配置して構成される。



BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】レーザ光を発生させるレーザ光源と、前記レーザ光をスリット光に整形するレンズ系と、前記スリット光を所定の走査制御下で被測定物体の表面に向けて偏向走査する偏向照射装置と、前記スリット光を所定の規則に従って点滅させる点滅装置と、前記スリット光により前記被測定物体の表面に生じる光学像を撮像するCCDカメラと、前記CCDカメラから出力される画像情報を蓄える記憶装置と、前記画像情報の複数フレームを通じて各画素の明暗情報を調べることにより、各画素に対応する前記被測定物体上の点が前記スリット光に照射されたときの、前記スリット光の偏向角情報を得る偏向角識別部と、各画素の前記偏向角情報を用いて被測定物体の形状を求める演算処理部と、を有することを特徴とする形状計測装置。

【請求項2】請求項1に記載の形状計測装置において、前記記憶装置が、1フレーム分の2値画像を蓄える1ビットの深さを持つメモリを並列に複数枚接続して構成され、各フレームごとに1枚の前記メモリを割当てて各フレームごとの2値画像を蓄え、読み出し時には前記各メモリに並列にアドレスを指定し並列に値を読み出すこと、を特徴とする形状計測装置。

【請求項3】請求項1に記載の形状計測装置において、前記スリット光を前記偏向照射装置から伝送する光ファイバー束と、前記光ファイバー束の被測定物体側の端面から出る光を前記被測定物体上に結像させる投射レンズ系と、を設けたことを特徴とする形状計測装置。

## 【発明の詳細な説明】

【産業上の利用分野】本発明は測定対象の三次元形状を非接触で光学的に計測する形状計測装置に関する。

【従来の技術】光を用いて測定対象の三次元形状を非接触に計測する技術は能動的計測法と受動的計測法とに大きく分けられる。受動的計測法はステレオ法に代表されるように、測定機側は投光手段を持たず、環境光を利用

$$Z_p = f \cdot d / (f \cdot \tan \theta_i + X' \cdot p) \quad \dots (第1式)$$

$$X_p = X' \cdot p \cdot Z_p / f \quad \dots (第2式)$$

$$Y_p = Y' \cdot p \cdot Z_p / f \quad \dots (第3式)$$

従来の空間コード化法では、パターンマスクとしてパターンを開口した数種の板やフィルムを機械的に入れ替えたり、円盤状のパターンマスクを回転させたりすることにより時系列に光パターンを生成していた。また、「液晶レンジファインダー液晶シャッターによる高速距離画像計測システム」(佐藤宏介、井口征士：電子情報通信学会論文誌、88/7 Vol. J71-D No. 7および特開昭64-54208に示されている方法では、パターンマスクとして液晶シャッターを用いており、光源には光プロジェクタを用いていた。

して計測するものであり、一方能動的計測法は測定機の投光装置から測定対象に向けて光を照射し、その反射光を計測するものである。能動的計測法にも様々なものがあるが、そのうち一般的な方法である三角測量に基づく方法には、スポット光投影法、スリット光投影法、符号化法などがある。この符号化法をさらに分類すると、光に色をつけて符号化する方法、投光装置のスリットの開口幅を変えることによって符号化する方法、符号化した複数の開口パターンを順次照射する「時系列符号化格子法」または「空間コード化法」と呼ばれる方法、がある。図6には、空間コード化法を用いた計測原理が示されている。図6において、測定物体Qを視野内にとらえているビデオカメラのレンズの光学中心点11を原点として、レンズ光軸をZc軸とし、ビデオカメラの水平走査方向に平行にXc軸をとり、Xc軸とZc軸に直交してYc軸をとってある。ビデオカメラの撮像面12は実際には光学中心点11の後ろにあるものだが、図では説明が容易なように光学中心点11の前に描いてある。Xc軸とYc軸に平行して撮像面12内にX'軸とY'軸をとる。光学中心点11と撮像面12との間の距離をfとする。Xc軸上でZc軸から距離dだけ離れた位置に光源10が配置してある。光源10から所定の広がりをもって投射されてパターンマスク13を通過した光100は、測定物体Qに到達し、測定物体Qの表面にパターンマスク13に応じた明暗の縞模様を形成する。パターンマスク13の縞模様の方向は、図に示すようにYc軸に平行である。パターンマスク13を所定の規則にしたがって入れ替えることによりパターンを時系列的に変化させ、測定物体Qの表面を、時系列的な明滅規則により識別されるn個の領域R1、・ ・ Ri、・ ・ Rnに分割することができる。領域Riに属する点Pの座標を(Xp、Yp、Zp)とし、点Pが撮像面上に結像した点を点P'とし、点P'の座標を(X'p、Y'p、f)とする。領域R1'・ ・ Ri'・ ・ Rn'の各領域を与える光100の部分は薄い楔状をしている。光100のうち、領域Riを与える薄い楔状の部分がX軸となす角をθiとする。点Pの座標は次の式で得られる。

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記従来のように光源と測定対象との間にパターンマスク等の物理的な装置を配置する方法では、装置全体の小型化が困難であった。しかもパターンマスクを時系列に変化させるための機械機構や液晶シャッターの駆動装置を必要とするため、装置が複雑になる欠点があった。また、機械機構あるいは液晶の動作速度の限界のために、パターンマスクを時系列に変化させる速度を高速化することに困難があった。さらに、光源が光プロジェクタ等の白色光源であったため、バックグラウンド光の影響をなくすためには、測定環境を暗室にしたり、特別な操作や演算をするなどの手間が必要であった。また、光源に用いられてい

た白熱燈やハロゲンランプは小型のものとすると十分な光量が得られないため、測定装置の小型化が困難であった。さらに、入り組んだ場所にある物体を測定するのは困難であった。本発明は上記従来の課題に鑑みなされたものであり、その目的は、空間コード化法を用いた非接触形状計測において、物理的なパターンマスクを用いることなく、高速に測定でき、かつ小型で簡易な構成の形状計測装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、レーザ光を発生させるレーザ光源と、前記レーザ光をスリット光に整形するレンズ系と、前記スリット光を所定の走査制御下で被測定物体の表面に向けて偏向走査する偏向照射装置と、前記スリット光を所定の規則に従って点滅させる点滅装置と、前記スリット光により前記被測定物体の表面に生じる光学像を撮像するCCDカメラと、前記CCDカメラから出力される画像情報を蓄える記憶装置と、前記画像情報の複数フレームを通じて各画素の明暗情報を調べることで、各画素に対応する前記被測定物体上の点が前記スリット光に照射されたときの、前記スリット光の偏向角情報を得る偏向角識別部と、各画素の前記偏向角情報を用いて被測定物体の形状を求める演算処理部と、を有することを特徴とする。また、本発明は、前記記憶装置が、1フレーム分の2値画像を蓄える1ビットの深さを持つメモリを並列に複数枚接続して構成され、各フレームごとに1枚の前記メモリを割当てて各フレームごとの2値画像を蓄え、読み出し時には前記各メモリに並列にアドレスを指定し並列に値を読み出すこと、を特徴とする。また、本発明は、前記スリット光を前記偏向照射装置から伝送する光ファイバー束と、前記光ファイバー束の被測定物体側の端面から出る光を前記被測定物体上に結像させる投射レンズ系と、を設けたことを特徴とする。

【作用】上記構成によれば、CCDカメラのCCD素子のデータ蓄積時間内に、点滅装置を用いてスリット光を所定の規則に従って点滅させながら被測定物体上に照射し走査することにより、従来のようにパターンマスクを用いて光パターンを被測定物体表面に形成した場合と同様な画像データを、CCD素子に蓄積することができる。このようにしてCCD素子に蓄えられた画像データは、記憶装置へ転送され蓄えられる。静止している被測定物体に対して、さらに、スリット光の点滅規則をスリット光の走査毎に所定の規則に従って変更しながら、これらの操作を複数回繰り返すことにより、記憶装置には複数枚の画像データが蓄えられる。スリット光の各走査における点滅規則を適切に設定することにより、記憶装置に蓄えられた複数枚の画像データと、スリット光の走査速度と、スリット光の点滅のタイミングとを用いて、CCD素子の各画素に対応する被測定物体上の点がスリット光に照射されたときのスリット光の偏向角情報を、偏向角識別部において得ることができる。さらに、演算

処理部において、各画素の偏向角情報と、各画素の位置とを用いて、三角測量の原理に基づき、各画素に対応する被測定物体上の点の座標を得ることにより、被測定物体の形状を測定することが可能となる。また、前述の構成によれば、記憶装置に複数フレーム分の1ビットのメモリを並列に接続することにより、画像データの明暗情報を効率良く記憶することができ、記憶した各フレームの同位置の画素の明暗情報を並列に読み出しデコードすることにより、効率良く偏向角情報を得ることが可能となる。また、前述の構成によれば、スリット光を偏向照射装置で偏向し、光ファイバー束の端面上に照射し走査することにより、光ファイバー束によってスリット光を光ファイバー束の被測定物体側の端面まで伝送することができ、光ファイバー束の被測定物体側の端面から出る光の像を、投射レンズ系を用いて被測定物体上に結像させることにより、偏向照射装置で偏向したスリット光を直接照射することのできない位置にある被測定物体に対してもスリット光を照射し走査することが可能となる。

【実施例】以下、本発明の好適な実施例を図面に基づいて説明する。図1には、本発明に係る形状計測装置の全体構成が示されている。図1において、レーザ光源37から出射されたレーザ光は、レンズ系38でスリット光に整形され、偏向照射装置39で偏向された後、被測定物体Qに向けて照射される。偏向照射装置39は、例えばポリゴンミラーやガルバノミラーの光反射面を回転または振動させることによって、被測定物体Qに向けてスリット光110を照射走査することができる。レーザ光源37は、所定の規則に従って点滅するように点滅装置36により制御され、さらに、点滅装置36は計測コントロール部35からの点滅同期信号253により制御されている。CCDカメラ31の1フレーム分の蓄積時間内に、偏向照射装置39によるスリット光110の1回の走査が行なわれるように、CCDカメラ31に対して計測コントロール部から撮像同期信号252が与えられ、偏向照射装置39に対して計測コントロール部から偏向同期信号254が与えられている。スリット光110は、被測定物体Qを照射し走査する間に所定の規則にしたがって点滅するため、被測定物体Qの表面には、スリット光110が照射された部分と照射されなかった部分とが縞模様状に生じる。スリット光110の1回の走査はCCDカメラ31の1フレーム分の蓄積時間内に行なわれるため、の画像データ1フレーム内には、上記被測定物体Qの表面がスリット光110にて照射された部分は明るく、照射されなかった部分は暗い縞模様状の画像が蓄積される。この画像データ202は記憶装置32へと送られ蓄えられる。このようにして、複数回の走査にわたって所定の規則にしたがってスリット光点滅規則を変化させながら撮像した画像データを、複数フレーム分記憶装置32に蓄える。記憶装置32に蓄えた複数フレーム分の画像データを用いて、偏向角識別部33にお

いて、各画素に対応するスリット光偏向角情報 2 5 1 を検出する。この部分の詳細については後述する。演算処理部では、各画素の撮像面内の位置とスリット光偏向角情報 2 5 1 とを用いて、対応する被測定物体 Q 上の点 R の座標 (X r、Y r、Z r) を算出することができる。この算出原理については後述する。さて、スリット光 1 1 0 は、被計測物体 Q を照射し走査する間に、所定の規則に従って点滅し、その走査は CCD カメラ 3 1 の 1 フレーム分の蓄積時間内に行なわれるため、被測定物体 Q の表面にスリット光 1 1 0 が照射された部分と照射されなかった部分とにより、CCD カメラ 3 1 の画像データ 1 フレーム分には縞模様を生じる。これを第 2 図を用いて説明する。図 2 (a)、(b)、(c)、(d) は、レーザ光源 3 7 の点滅規則の例を示すものである。したがって、スリット光 1 1 0 もこれにしたがって同じ点滅をすることになる。(a)、(b)、(c)、(d) の点滅規則は各々第 1 回、第 2 回、第 3 回、第 4 回のスリット光走査に対応している。図 2 において、第 1 回のスリット光走査の際に (a) のようにレーザ光源を点滅させながら CCD カメラ 1 フレーム蓄積時間内に被測定物体表面を走査すると、CCD カメラの 1 フレームには (a') で示されるような明暗のパターンが得られる。このパターンは被測定物体 Q の表面形状により歪むが、図 2 では図示の簡略化のため、被測定物体表面が平面である場合を例にとっている。CCD カメラ 3 1 に蓄積された図 2 (a') に示すフレームデータは記憶装置 3 2 へと送られ記憶される。次に、第 2 回のスリット光走査の際に、図 2 (b) に示すようにレーザ光源 3 7 を点滅させることにより、図 2 (b') に示すような明暗のパターンが CCD カメラ 3 1 に蓄積される。このフレームデータは記憶装置 3 2 へと送られる。このようにして、第 4 回までのスリット光走査が終了した後は、記憶装置 3 2 内には (a')、(b')、(c')、(d') に示すフレームデータが記憶されている。上記 (a)、(b)、(c)、(d) は必ずしもこの順序どうりでなくてもよく、例えば (d)、(c)、(b)、(a) の順でもよい。また、ここでは図から分かるように (a)、(b)、(c)、(d) の点滅が純 2 進符号を生成するようにした例を示してあるが、点滅規則としては、この他に、グレイコードを生成するような点滅規則を用いてもよい。さらに、図 2 では、説明が簡易になるように、走査回数を 4 回としているが、実際に使用する場合には走査回数を 8 回程度にして、より高い解像度を得られるようにしてもよい。(a')、(b')、(c')、(d') を通じてのフレーム内の画素の明暗情報 2 5 0 は偏向角識別部へと送られる。偏向角識別部においては、以下のようにしてスリット光 1 1 0 が照射走査された空間は薄い楔形の空間に分割され識別されることになる。図 2 (d') に示すような縞模様 s' 1、... s' 1 6 の中のある 1 点 R について考える。この

被測定物体上の点 R が図 2 のフレームデータ (a') 内の点 4 1 に対応するとすると、(a') では点 4 1 はスリット光に照射されていず暗である。フレームデータ (b') 内で点 R に対応する点を点 4 2 とすると、点 4 2 は明である。同様に (c') で点 R に対応する点を点 4 3 とし、(d') で点 R に対応する点を点 4 4 とすると、点 4 1 から点 4 4 までの明暗状態は順に暗明暗暗であることが分かり、したがって、この点 R は縞模様 S' 1 2 を含む楔形空間内に存在することが分かる。このようにして、偏向角識別部 3 3 では、空間コード化された画像データをデコードすることによって、各画素がどの楔型空間に属するのかを識別し、各楔型空間に対応した偏向角情報 2 5 1 を出力することができる。次に、図 3 を用いて、演算処理部において点 R の座標 (X r、Y r、Z r) を算出する原理を説明する。CCD カメラのレンズ中心点 1 1 の座標を (0、0、0) とし、撮像面 1 2 の中心点 6 0 の座標を (0、0、f) とする。偏向照射装置 3 9 の回転中心軸 M は座標 (M、0、M) を通り Y c 軸に平行に配置されている。被測定物体 Q 上の点 R が属する楔形空間 1 2 0 の偏向角情報を用いて楔形空間 1 2 0 が Z c 軸となす角  $\phi$  を求めることができる。楔形空間 1 2 0 は厚みを持つので、この厚み分の角度  $\delta \phi$  は測定誤差となる。すなわち、スリット光の範囲が Z c 軸に対して  $\phi$  0 度から  $\phi$  m 度であるようにあらかじめ設定しておいたとき、偏向角情報 2 5 1 より、着目している楔型空間の中心線が Z c 軸となす角度  $\phi$  を得ることができる。点 R が撮像面 1 2 上に結像した点を点 R' とし、その座標を (x i、y i、f) とする。幾何学的に点 R の座標は次の式で得ることができる。

$$Z r = f \cdot (M x + M z \cdot \tan \phi) / (x i + f \cdot \tan \phi) \cdots \cdots \text{(第 4 式)}$$

$$X r = Z r \cdot x i / f \cdots \cdots \text{(第 5 式)}$$

$$Y r = Z r \cdot y i / f \cdots \cdots \text{(第 6 式)}$$

以上のように、本実施例の装置によれば、機械的なパターンマスクを使用しないため、装置全体を極めて小型にすることが可能であり、さらに高速な測定が可能であるという利点を有する。また、光源に半導体レーザを用いることにより、さらに小型化が容易になるという特徴もある。レーザ光源 3 7 としては半導体レーザが最も適しているが、気体レーザを用いてもよい。また、バックグラウンド光の影響をなくすために、フィルター 4 0 を CCD カメラ 3 1 の前に配置してもよい。次に図 4 を用いて、本発明に係る記憶装置の実施例を説明する。図 4 には、メモリを 4 個用いた場合の例が示されている。CCD カメラ 3 1 内の CCD 撮像素子 5 0 からの画像信号 2 0 1 は、2 値化回路 5 2 へと送られる。2 値化された画像データ 2 0 2 は各々 1 ビットの深さを持つ第 1 メモリから第 4 メモリへ並列に供給されている。CCD 駆動回路 5 1 からの垂直同期信号 2 0 5 を得てセクタ 5 4 は画像データのフレームごとにメモリをセレクトする。す

なわち、第1フレームの画像データが画像信号202として記憶装置32に供給されているときには、セレクト54は第1メモリ55をセレクトしており、したがって第1フレームの画像データは第1メモリ55のみに蓄えられる。次に、第2フレームの画像データが画像信号202として記憶装置32に供給されているときには、セレクト54は第2メモリ56をセレクトしており、したがって第2フレームの画像データは第2メモリ56のみに蓄えられる。同様に、第3、第4フレームの画像データは各々第3メモリ57と第4メモリ58に蓄えられる。各メモリにデータを蓄える際のアドレスの指定は、CCD駆動回路51からのCCD駆動パルス215をカウンタ53でカウントすることによりアドレス信号203を作成して各メモリに並列に供給することによりなされる。各メモリに蓄えられたデータの読み出しは次のように行なわれるまず、計測コントロール部からアドレス信号203が各メモリに並列に送られる。図では省略してあるが、このとき計測コントロール部からのセレクト信号で全てのメモリは読み出し可能となっている。次に、アドレス信号203で指定された各メモリ内の値、すなわち各フレームの画像データにおけるアドレス信号203で指定される特定の画素の持つ画像データ211~214、を偏向角識別部33へと送られる。偏向角識別部33において画像データ211~214を用いてデコーディングが行なわれる。以上のように、本実施例の装置によれば、各フレームごとに1枚の前記メモリを割当てて各フレームごとの2値画像を蓄え、読み出し時には前記各メモリに並列にアドレスを指定し並列に値を読み出すことによって、空間コード化法における画像データの蓄積とデコーディングを簡易に行なうことができる。次に図5を用いて、本発明に係る形状計測装置のうち光ファイバー束を用いた実施例を説明する。図5において、レーザ光源37から出射されたレーザ光は、レンズ系38でスリット光に整形され、偏向照射装置39で偏向された後、光ファイバー束71の偏向照射装置39側の端面に照射される。光ファイバー束71は光ファイバーを整列させて束ねたものであり、したがって、スリット光が照射された端面の反対側の端面、すなわち光ファイバー束71の被測定物体側の端面には、照射されたスリット光が形を変えずに現われる。この光ファイバー束71の被測定物体側の端面と被測定物体Qとの間に投射レンズ系70が設けてあり、光ファイバー束71の被測定物体側の端面から出る光131を前記被測定物体上に結像させる働きをする。偏向照射装置39によって、スリット光は光ファイバー束71の偏向照射装置39側の端面上を走査してゆくが、これに応じて被測定物体Q上のスリット光像も移動してゆく。光ファイバー束71をこのように用いることにより、レーザ光源37とレンズ系38と偏向照射装置39とを、被測定物体Qから離れた位置に任意の方向に向けて置くことができる。

以上のように、本実施例の装置によれば、レーザ光源と偏向照射装置を離れた位置に任意の方向に向けて配置することが可能なため、測定機のヘッド部分の小型化がしやすくなり、入り組んだ場所や管状の空間の奥にある物体などの測定も容易になる。

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る形状計測装置によれば、スリット光を点滅させながら照射し走査することによって、機械的なパターンマスクを使用することなしに、空間コード化の原理を用いた物体形状測定が可能となる。スリット光の点滅により照射パターンを生成するので、機械的なパターンマスクや液晶シャッターを用いるよりも迅速にパターンを生成することができる。また、構造も機械的動作部分としては偏向照射装置のみとなり、より簡便で、小型化に適するものである。また、並列に配置した1ビットのメモリに、各パターン照射時の明暗情報の画像データを蓄えることにより、全フレームについて同位置の画素の明暗情報を並列に読み出しデコードすることにより、効率良く偏向角情報を得ることが可能となり、簡便な構成にして高速なデータ処理が可能となる。また、偏向照射装置から被測定物体へ光ファイバーを用いてスリット光を伝送することにより、偏向照射装置で偏向したスリット光を直接照射することのできない入り組んだ場所にある被測定物体の計測も容易に行なうことができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】は本発明に係る形状計測装置の全体構成を示すブロック図。

【図2】本発明に係る空間コード化手法の原理を示す説明図。

【図3】本発明に係る形状計測原理を示す説明図。

【図4】本発明に係る記憶装置の構成を示すブロック図。

【図5】本発明に係る光ファイバーを用いた形状計測装置の構成を示す説明図。

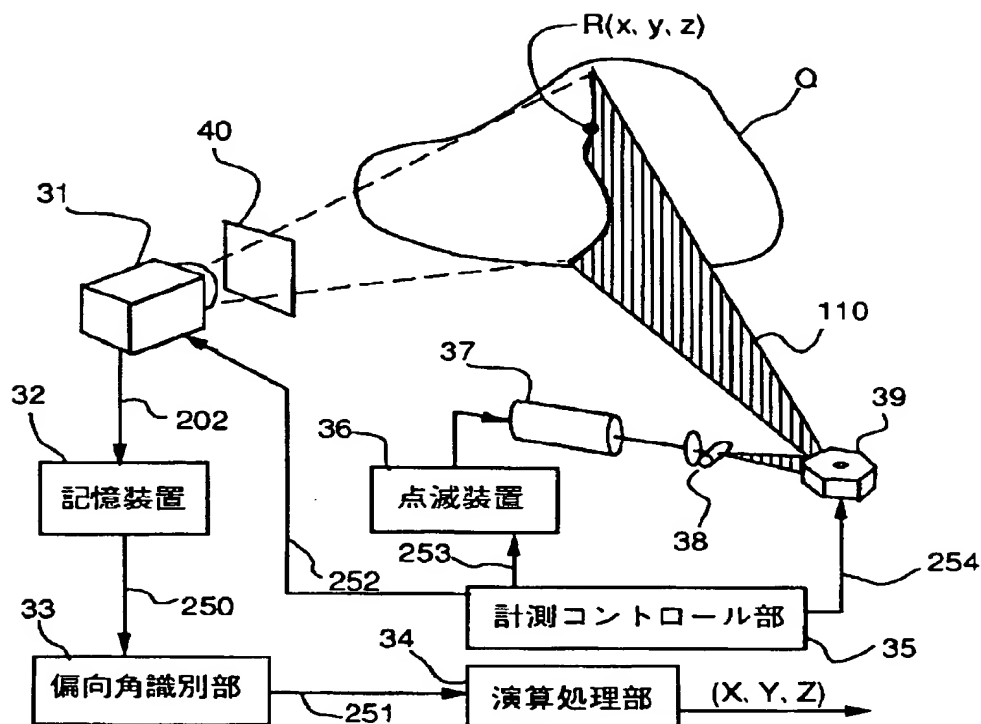
【図6】従来の空間コード化法による形状計測原理を示す説明図。

#### 【符号の説明】

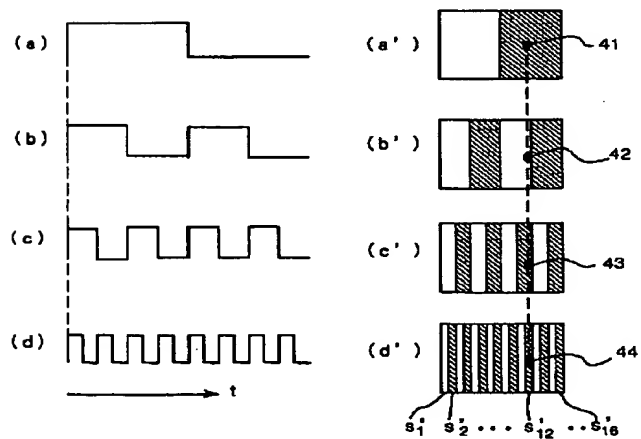
- 10 ……光源
- 11 ……CCDカメラレンズ中心点
- 12 ……撮像面
- 13 ……パターンマスク
- 31 ……CCDカメラ
- 37 ……レーザ光源
- 38 ……レンズ系
- 39 ……偏向照射装置
- 40 ……フィルター
- 60 ……撮像面の中心点
- 70 ……投射レンズ系
- 71 ……光ファイバー束
- 100 ……パターンマスクを通過した光

- |                       |                  |
|-----------------------|------------------|
| 110・・・スリット光           | 205・・・垂直同期信号     |
| 120・・・楔形空間            | 250・・・明暗情報       |
| 131・・・光ファイバー束の端面から出る光 | 251・・・スリット光偏向角情報 |
| 201・・・画像信号            | 252・・・撮像同期信号     |
| 202・・・画像データ           | 05 253・・・点滅同期信号  |
| 203・・・アドレス信号          | 254・・・偏向同期信号     |

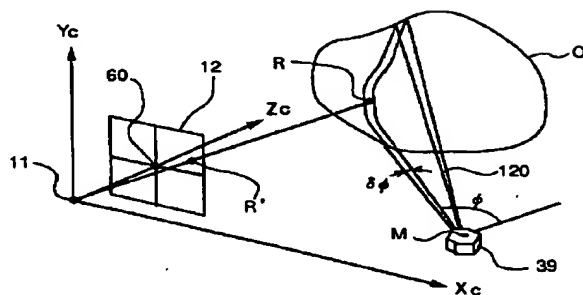
【図1】



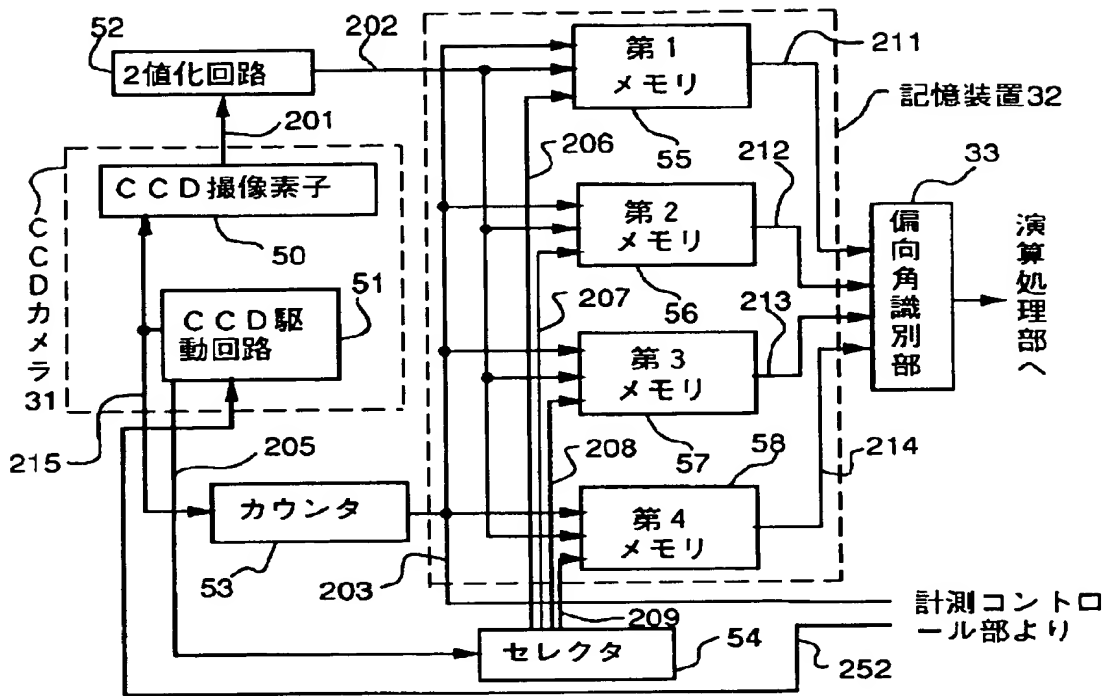
【図2】



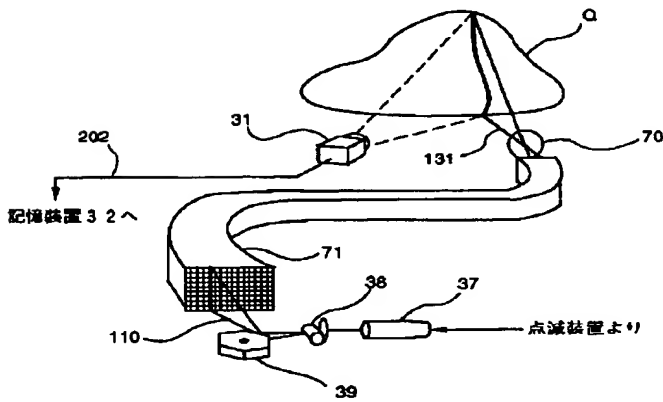
【図3】



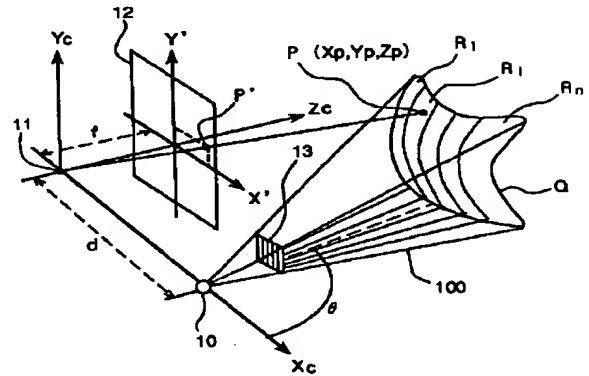
【図4】



【図 5】



【図 6】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**